壳聚糖对断奶仔猪生长性能、粪便评分及血清激素和 T 淋巴细胞亚群的影响

徐元庆　王哲奇　史彬林*　岳远西　秦　哲　闫素梅

（内蒙古农业大学动物科学学院，呼和浩特　010018）

摘　要：本试验旨在研究壳聚糖对断奶仔猪生长性能、粪便评分及血清激素和 T 淋巴细胞亚群的影响。选取 28 日龄断奶的杜×大×长三元杂交仔猪 60 头，随机分为 5 组（每组 12 头）：对照组饲喂基础饲粮，试验组分别饲喂在基础饲粮中添加 250、500、1 000 和 2 000 mg/kg 壳聚糖的试验饲粮。试验期 14 d。结果表明：1）饲粮添加 250～2 000 mg/kg 壳聚糖显著提高断奶仔猪的平均日增重（ADG）（*P*<0.05），显著降低料重比（F/G）（*P*<0.05）；2）饲粮添加 250～2 000 mg/kg 壳聚糖显著降低试验第 11 天断奶仔猪的粪便评分（*P*<0.05）；3）饲粮添加适宜剂量的壳聚糖显著提高断奶仔猪的血清促生长激素释放激素（GHRH）（250～2 000 mg/kg）、生长激素（GH）(500～1 000 mg/kg)和瘦素（LP）(2 000 mg/kg)的浓度（*P*<0.05），显著降低血清促肾上腺皮质激素释放激素（CRH）（250～2 000 mg/kg）、促肾上腺皮质激素（ACTH）（500～1 000 mg/kg）、皮质醇（COR）（250～2 000 mg/kg）和可溶性 CD8(sCD8)（500～2 000 mg/kg）的浓度（*P*<0.05）。由此可见，饲粮中添加适宜剂量的壳聚糖能够促进断奶仔猪的生长，降低腹泻，缓解断奶应激。

关键词：壳聚糖；断奶仔猪；生长性能；粪便评分；淋巴细胞亚群

中图分类号：S816　　　　文献标识码：A　　　　文章编号：

断奶是猪生产周期中最大的应激源，包括将小猪从母猪中分离和仔猪饮食中去除母乳，这会导致母仔关联的断裂[1]。断奶仔猪还可能暴露于其他应激源，包括自然（畜舍、运输）和社会（陌生的同伴）环境的变化[2]。这种饲粮和环境的突然变化通常会导致仔猪消化功能紊乱，出现胃肠疾病和腹泻，使生长受阻[3-4]，产生断奶应激。因此，许多功能性物质被作为控制断奶动物腹泻的生长促进剂应用于断奶饲粮中[5-6]。其中，壳聚糖作为天然线性杂多糖，是一种无毒的营养补充剂，且通常被认为是一种安全的化合物[7]。壳聚糖衍生自甲壳素，主要存在于

收稿日期：2016-10-31

基金项目:国家自然科学基金（31460605）

作者简介:徐元庆(1986-)，男，河南商丘人，博士研究生，从事动物环境、营养与安全生产研究。E-mail: happyxyq@yeah.net

*通信作者:史彬林，教授，博士生导师，E-mail: shibinlin@yeah.net

甲壳类动物如虾或蟹的外骨骼及真菌的细胞壁中。壳聚糖是葡糖胺[β-(1,4)-2-氨基-2-脱氧-*D*-葡萄糖]和 N-乙酰葡糖胺（2-乙酰氨基-2-脱氧-*D*-葡萄糖）的共聚物[8]。近期的研究显示，壳聚糖具有抗肿瘤[9-10]、降低胆固醇[11]、增强免疫[12]、抗糖尿病[13]、促进伤口愈合[14]、抗真菌和抗微生物[15]等多种生物功能，并能改善幼龄动物的生长性能[16]等。本研究旨在探讨壳聚糖对断奶仔猪生长性能、粪便评分以及血清激素和 T 淋巴细胞亚群的影响，为壳聚糖在养猪业中推广应用提供科学依据。

1　材料与方法

1.1　试验材料

壳聚糖：脱乙酰度为85.09%，黏度为45 cps，购于山东济南海德贝海洋生物工程有限公司。

1.2　试验设计

选取 60 头健康无病的杜×大×长三元杂交断奶仔猪[初始体重为（8.85±1.52） kg]，随机分为 5 个组，每组 12 头猪，公母各占 1/2。5 组试验猪所喂试验饲粮分别是在基础饲粮中添加 0（对照组）、250、500、1 000 和 2 000 mg/kg 的壳聚糖配制而成。基础饲粮参照 NRC（1998）猪营养需求标准配制成全价粉料，其组成及营养水平见表 1。

表 1　基础饲粮组成及营养水平（风干基础）

Table 1　Composition and nutrient levels of the basal diet (air-dry basis)　%

项目 Items	含量 Content
原料 Ingredients	
玉米 Corn	60.09
小麦麸 Wheat bran	5.00
豆粕 Soybean meal	26.57
鱼粉 Fish meal	3.00
豆油 Soybean oil	1.00
石粉 Limestone	1.39
磷酸氢钙 $CaHPO_4$	0.89
食盐 NaCl	0.30
L-赖氨酸盐酸盐 *L*-Lys HCl	0.45
DL-蛋氨酸 *DL*-Met	0.16

L-苏氨酸 *L*-Thr	0.15
预混料 Premix[1)]	1.00
合计 Total	100.00
营养水平 Nutrient levels[2)]	
消化能 DE/(MJ/kg)	13.94
粗蛋白质 CP	20.37
赖氨酸 Lys	1.45
蛋氨酸 Met	0.47
蛋氨酸+半胱氨酸 Met+Cys	0.87
苏氨酸 Thr	0.96
色氨酸 Trp	0.24
钙 Ca	0.90
磷 P	0.61

[1)] 预混料为每千克饲粮提供:The premix provided the following per kg of the diet:VA 8 000 IU，VD_3 2 000 IU，VE 34 mg，VK_3 2.8 mg，VB_1 2.6 mg，VB_2 6 mg，VB_6 7.0 mg，VB_{11} 1.1 mg，VB_{12} 0.02 mg，泛酸 pantothenic acid 12 mg，烟酸 nicotinic acid 50 mg，生物素 biotin 0.47 mg，叶酸 folic acid 0.85 mg，Cu (as copper sulfate) 11 mg，Mn (as manganese sulfate) 40 mg，Zn (as zinc sulfate) 80 mg，Fe (as ferrous sulfate) 94 mg，I (as ethylenediamine dihydroiodide) 0.35 mg，Se (as sodium selenite) 0. 35 mg，氯化胆碱 choline chloride 750 mg。

[2)] 计算值 Calculated values。

1.3 饲养管理

试验猪只于保育舍内网床[（2×2.2） m^2]上饲养，各组猪舍环境条件及饲养管理均保持一致。仔猪于（28±2）日龄断奶，断奶后转入保育舍，饲喂 7 d 的过渡饲粮，而后开始正式试验，正式试验期间饲喂试验饲粮，自由采食，自由饮水。试验期为 14 d。

1.4 样品采集及指标测定

1.4.1 生长性能

试验开始和结束当天早晨，仔猪空腹称重，并记录每头仔猪每日的给料量和剩料量，计算平均日增重（ADG）、平均日采食量（ADFI）和料重比（F/G）。

1.4.2 粪便评分

根据 Hu 等[17]介绍的 5 分法对仔猪粪便进行主观视觉评分，即于每天 14:00 观察仔猪粪便形态外观，评为 1～5 分（粪便评分标准见表 2），并记录粪便评分。

表2 粪便评分标准

Table 2 Standard of fecal score

粪便评分 Fecal score	评分依据（粪便外观）Based on the score (fecal appearance)	评定 Evaluation
1	粪便较硬或呈颗粒状	不常见
2	正常粪便，松软成形	无腹泻
3	粪便松散，不分成形	轻度腹泻
4	半液体粪便，粪水未分离	中度腹泻
5	水样粪，粪水分离	重度腹泻

1.4.3 血清指标

于试验结束当天清晨，每组随机挑选 6 头体况相近的仔猪，真空采血管于前腔静脉采血 10 mL，静置 20 min 后，1 500 r/min 离心 15 min，分离血清置于-20 ℃冰箱冻存待测。按照试剂盒说明书进行血清生长激素释放激素（GHRH）、生长抑制素（SS）、生长激素（GH）、类胰岛素生长因子-I（IGF-I）、瘦素（LP）、促肾上腺皮质激素释放激素（CRH）、促肾上腺皮质激素（ACTH）、皮质醇（COR）以及 T 淋巴细胞亚群中可溶性 CD3（sCD3）、可溶性 CD4（sCD4）、可溶性 CD8（sCD8）浓度的测定。CRH 和 GHRH 测定试剂盒购自南京博尔迪生物科技有限公司，其余指标测定试剂盒购自南京建成生物工程研究所。

1.5 数据统计分析

试验数据经 Excel 2007 整理后，采用 SAS 9.0 统计软件进行回归统计分析，并进行 Duncan 氏法多重比较（粪便评分除外）。粪便评分进行双因子互作方差分析，分析主效应(时间和饲粮)以及二者的互作效应。P<0.05 为差异显著。

2 结果与分析

2.1 壳聚糖对断奶仔猪生长性能的影响

由表 3 可知，随着壳聚糖添加量的增加，断奶仔猪的 ADG 呈现显著的线性和二次曲线增加效应（P<0.05），F/G 则呈现显著的线性和二次曲线降低效应（P<0.05）。各壳聚糖添加组的 ADG 显著高于对照组（P<0.05），F/G 显著低于对照组（P<0.05）。但饲粮中添加壳聚糖对断奶仔猪试验末重和 ADFI 均无显著影响（P>0.05）。

表 3　壳聚糖对断奶仔猪生长性能的影响

Table 3　Effects of chitosan on growth performance of weaned piglets

项目 Items	壳聚糖添加量 Chitosan supplemental level/(mg/kg)					SEM	P 值 P-value	
	0	250	500	1 000	2 000		线性 Linear	二次 Quadratic
初重 Initial weight/kg	8.82	8.84	8.83	8.85	8.89	0.44	0.996	0.996
末重 Final weight/kg	12.62	13.61	13.97	13.90	13.68	0.54	0.343	0.204
平均日增重 ADG/(g/d)	271.4^{b}	340.6^{a}	365.5^{a}	360.4^{a}	342.9^{a}	14.0	0.025	<0.001
平均日采食量 ADFI/(g/d)	576.5	587.6	613.2	596.8	586.7	20.0	0.884	0.615
料重比 F/G	2.12^{a}	1.73^{b}	1.68^{b}	1.66^{b}	1.71^{b}	0.09	0.018	<0.001

同行数据肩标无字母或相同字母表示差异不显著(P>0.05)，不同字母表示差异显著(P<0.05)。下表同。

In the same row, values with no letter or the same letter superscripts mean no significant difference (P>0.05), while with different letter superscripts mean significant difference (P<0.05). The same as below.

2.2　壳聚糖对断奶仔猪粪便评分的影响

由图 1 可知，在第 2 天，500 和 2 000 mg/kg 壳聚糖添加组断奶仔猪粪便评分显著低于对照组（P<0.05）；在第 3 天，250 和 2 000 mg/kg 壳聚糖添加组断奶仔猪粪便评分显著低于对照组（P<0.05）；在第 5、10 和 12 天，1 000 mg/kg 壳聚糖添加组断奶仔猪粪便评分显著低于对照组（P<0.05）；在第 11 天，各壳聚糖添加组断奶仔猪粪便评分均显著低于对照组（P<0.05）。在整个试验期内，饲粮和时间对断奶仔猪粪便评分均有显著影响（P<0.05），但二者对断奶仔猪的粪便评分没有显著的互作效应（P>0.05）。

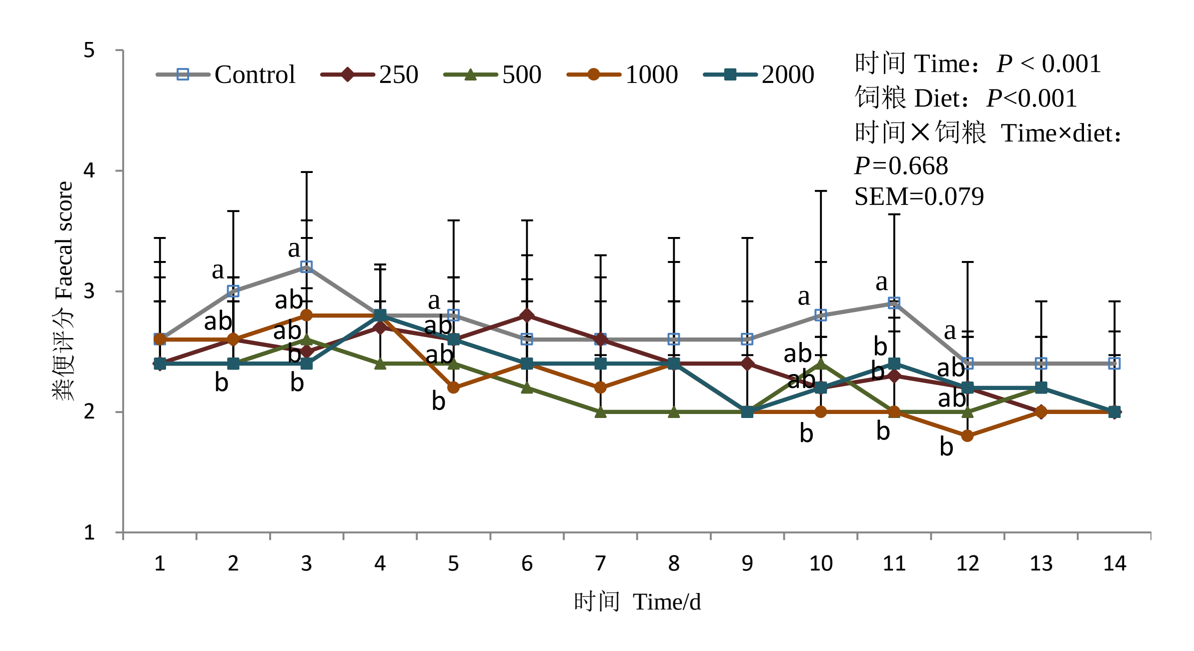


图 1 壳聚糖对断奶仔猪粪便评分的影响

Fig.1 Effects of chitosan on fecal score of weaned piglets

在同一抽样日数据点标注不同字母表示组间显著差异(*P*<0.05)。重叠数据点字母标注相同，未重复标出。

Data points in the same sampling day with different letters mean significant difference among groups (*P*<0.05). Overlapping data points had the same letters, and were not labeled repeatedly.

2.3 壳聚糖对断奶仔猪血清生长轴激素浓度的影响

由表 4 可知，随着壳聚糖添加量的增加，断奶仔猪的血清 GHRH 和 GH 浓度呈现显著二次曲线增加效应（*P*<0.05），而血清 LP 浓度则呈现显著的线性增加效应（*P*<0.05）。各壳聚糖添加组血清 GHRH 浓度均显著高于对照组（*P*<0.05）。500 和 1 000 mg/kg 壳聚糖添加组的血清 GH 浓度显著高于对照组（*P*<0.05），2 000 mg/kg 壳聚糖添加组的血清 LP 浓度显著高于对照组（*P*<0.05）。

表 4 壳聚糖对断奶仔猪血清生长轴激素浓度的影响

Table 4 Effects of chitosan on serum growth axis hormone concentrations of weaned piglets

项目 Items	壳聚糖添加量 Chitosan supplemental level/(mg/kg)					SEM	*P* 值 *P*-value	
	0	250	500	1 000	2 000		线性 Linear	二次 Quadratic
生长激素释放激素	385.8[c]	438.3[b]	489.0[a]	469.2[ab]	441.3[b]	19.3	0.131	<0.001

GHRH/(ng/mL)								
生长抑素 SS/(pg/mL)	68.6	64.7	66.1	64.5	66.8	3.7	0.830	0.771
生长激素 GH/(ng/mL)	7.6[b]	8.9[ab]	10.8[a]	9.7[a]	9.4[ab]	0.7	0.180	0.032
类胰岛素生长因子-Ⅰ IGF-Ⅰ/(μg/L)	71.7	78.3	83.6	76.4	79.3	6.9	0.733	0.842
瘦素 LP/(μg/L)	4.7[b]	5.2[ab]	5.4[ab]	5.2[ab]	5.8[a]	0.3	0.035	0.112

2.4 壳聚糖对断奶仔猪血清应激激素浓度的影响

由表 5 可知，随着壳聚糖添加量的增加，断奶仔猪的血清 CRH 浓度呈现二次曲线降低趋势（P=0.088），各壳聚糖添加组血清 CRH 浓度均显著低于对照组（P<0.05）。断奶仔猪的血清 ACTH 和 COR 浓度呈现显著二次曲线降低效应（P<0.05）。500 和 1 000 mg/kg 壳聚糖添加组的血清 ACTH 浓度显著低于对照组（P<0.05），各壳聚糖添加组的血清 COR 浓度均显著低于对照组（P<0.05）。

表 5 壳聚糖对断奶仔猪血清应激激素浓度的影响

Table 5 Effects of chitosan on serum stress hormone concentrations of weaned piglets

项目 Items	壳聚糖添加量 Chitosan supplemental level/(mg/kg)					SEM	*P* 值 *P*-value	
	0	250	500	1 000	2 000		线性 Linear	二次 Quadratic
促肾上腺皮质激素释放激素 CRH/(ng/L)	648.0[a]	586.0[b]	570.8[b]	592.0[b]	590.0[b]	18.4	0.284	0.088
促肾上腺皮质激素 ACTH/(ng/L)	20.5[a]	18.0[ab]	16.1[b]	16.9[b]	19.1[ab]	1.2	0.863	0.033
皮质醇 COR/(μg/L)	45.6[a]	38.2[b]	38.6[b]	37.9 [b]	40.0[b]	1.9	0.233	0.017

2.5 壳聚糖对断奶仔猪血清 T 淋巴细胞亚群的影响

由表 6 可知，随着壳聚糖添加量的增加，断奶仔猪的血清 sCD8 浓度呈现显著二次曲线降低效应（P<0.05），且 500、1 000 和 2 000 mg/kg 壳聚糖添加组的血清 sCD8 浓度显著低于对照组（P<0.05），血清中 sCD3、sCD4 浓度及 sCD4/sCD8 均未与壳聚糖添加量呈现显著的线性或二次曲线效应（P>0.05）。

表 6　壳聚糖对断奶仔猪血清 T 淋巴细胞亚群的影响

Table 6　Effects of chitosan on T lymphocyte subset of weaned piglets

项目 Items	壳聚糖添加量 Chitosan supplemental level/(mg/kg) 0	250	500	1 000	2 000	SEM	*P* 值 *P*-value 线性 Linear	二次 Quadratic
可溶性 CD3 sCD3/(U/mL)	5.12	5.12	4.68	5.36	5.21	0.58	0.808	0.971
可溶性 CD8 Scd4/(U/mL)	11.16	11.06	10.57	9.73	10.42	0.49	0.152	0.083
可溶性 CD8 sCD8/(U/mL)	5.79[a]	5.16[ab]	4.97[b]	4.97[b]	5.02[b]	0.26	0.107	0.048
可溶性 CD8/可溶性 CD8 sCD4/sCD8	1.95	2.15	2.14	1.97	2.10	0.11	0.800	0.968

3　讨　论

动物受到环境、营养和免疫应激的影响时，其各种代谢过程受到负面影响，导致消化障碍、腹泻、生长性能降低和死亡率增加。特别是仔猪断奶期，仔猪的消化系统和免疫系统尚不完善，腹泻伴随着脱水甚至死亡是常见的。资料显示，壳聚糖作为一种天然碱性多糖，具有促进幼龄动物生长的特性。Liu 等[18]报道，饲粮中补充 0.01%或 0.02%的壳聚糖对断奶仔猪的采食量、体增重和饲料效率均产生了积极影响。Zhou 等[19]进行的一项评估补充壳聚糖对断奶猪生长性能、营养素消化率和腹泻发病率的影响的研究显示，0.20%壳聚糖可改善生长性能，增强干物质和氮总表观消化率，减少腹泻的发生率。本试验结果显示，饲粮中添加壳聚糖改善了断奶仔猪的生长性能，这可能是血清中 GHRH 和 GH 浓度的增加所致。Tang 等[20]的研究结果证明壳聚糖可增加断奶仔猪血浆中 GH 和 IGF-Ⅰ的浓度以及增加肝脏和肌肉中 *IGF*-Ⅰ mRNA 的丰度，推测膳食补充壳聚糖可能通过增加血浆中 GH 和 IGF-Ⅰ的浓度来提高生长性能和饲料转化效率，这与本研究结果一致。另外，本试验还发现，饲粮添加 2 000 mg/kg 壳聚糖显著增加了断奶仔猪血清 LP 浓度。LP 是由动物白色脂肪组织所分泌的一种蛋白质类激素，

可参与动物的脂肪代谢调控[21]。大量研究指出，LP 作用于脑信号中枢，可抑制进食量、增加能量消耗以及抑制脂肪合成，促进脂肪分解[22-23]。本研究中，饲粮添加 2 000 mg/kg 壳聚糖显著增加了断奶仔猪血清 LP 浓度，但并未对生长性能产生负面影响。这可能是因为断奶仔猪以骨骼发育和肌肉沉积为主，并不主要沉积脂肪，血清 LP 浓度的增加并不会大幅度影响生长性能。

断奶期仔猪肠道免疫学和行为变化最快的时期之一。在这段时间内，断奶仔猪经历肠道结构和功能（酶活性和吸收或分泌）的生理变化[3,24-25]。这些改变影响小肠的消化、吸收和分泌能力，也会对肠屏障功能产生不利影响[24,26-28]。当肠黏膜屏障被破坏时，肠道上皮通透性增加，毒素、细菌或饲料相关抗原穿过肠黏膜上皮，导致炎症、吸收不良、腹泻，并降低生长性能。其中，大肠杆菌被认为是导致仔猪断奶后腹泻的最重要原因之一。因此，大肠杆菌群落的减少可以降低断奶仔猪腹泻的发生率[29]。在本研究中，与对照组相比，壳聚糖添加组断奶仔猪的粪便评分降低。结合本课题组前期的研究[30]，壳聚糖的补充减少了断奶仔猪肠道大肠杆菌的数量。Liu 等[18]也发现，补饲 0.01%或 0.02%的壳聚糖可减少粪便中大肠杆菌的数量，增加乳杆菌的数量，降低腹泻的发生率。另外，壳聚糖可以结合某些类型的细菌，并且可能干扰它们对宿主动物的肠组织的黏附[18,31]，降低肠黏膜损伤；壳聚糖还可以延迟食糜通过肠道的速率，并且具有吸收水的能力[32]，从而降低粪便评分，减少腹泻的发生。

仔猪断奶后，血清中 CRH 和 COR 浓度增加，表明断奶应激诱导 CRH 受体介导的肠功能障碍的通路的激活[33]。本试验结果显示，断奶仔猪饲粮中添加壳聚糖可以降低血清 CRH、ACTH 和 COR 浓度。CRH 通过中枢的下丘脑-垂体-肾上腺轴或外周以 CRH 为基础的旁分泌系统的激活来调节胃肠道功能[34]。CRH、ACTH 和 COR 等神经内分泌因子异常释放可以导致肠道细胞因子失衡，损害肠道屏障功能，增加肠道上皮的通透性[35-36]，导致细菌和抗原等能够通过上皮屏障而进入体内，进而引起炎症和腹泻。Chen 等[37]也发现壳聚糖降低免疫应激仔猪血液 COR 浓度。这表明壳聚糖能够缓解仔猪的断奶应激，并保护肠道屏障的完整性，减少腹泻。此外，CRH 由下丘脑室旁核小细胞部神经元产生，于垂体前叶与 CRH 受体结合诱导 ACTH 释放，进而刺激肾上腺糖皮质激素释放[38]，而糖皮质激素是调节炎症及免疫反应的重要物质，通过这些应激激素的作用，应激对免疫功能具有不利影响，包括降低自然杀伤（NK）细胞活性以及淋巴细胞亚群、淋巴细胞增殖等[39]，导致机体的免疫力降低，增加疾病的易感

性。在本试验中，饲粮添加壳聚糖降低了断奶仔猪血清中 CRH、ACTH 和 COR 浓度，反映了壳聚糖对仔猪断奶应激的缓解作用，并且可能对断奶仔猪的免疫功能有一定的正面影响。

细胞免疫应答在宿主对细胞内病原体的反应中通过抑制病原体复制和加速感染细胞的清除发挥重要作用。外周血中的 sCD3、sCD4 和 sCD8 是可溶形式的 $CD3^+$、$CD4^+$和 $CD8^+$，其与 T 淋巴细胞的活化相关[40]。这些可溶形式的 $CD3^+$、$CD4^+$和 $CD8^+$已被鉴定为 T 淋巴细胞活化和疾病或感染发生的重要标志物。在本研究中，饲粮中添加壳聚糖降低断奶仔猪血清 sCD8 浓度，这一结果表明壳聚糖可以调节 T 淋巴细胞的免疫功能。本课题组前期的研究表明壳聚糖对淋巴细胞功能具有抑制作用[41]。因此，免疫功能的抑制可能是壳聚糖提高生长性能的途径之一。这是因为免疫激活伴随着代谢活动的改变，导致营养物质重新分配，优先支持机体防御外来抗原[42]。此外，本研究以及本课题组前期的研究[43]表明，壳聚糖可以提高断奶仔猪的生长性能，这可能是壳聚糖改善免疫功能的反映。

总体而言，饲粮中添加不同剂量的壳聚糖均能够不同程度地促进断奶仔猪的生长，减少腹泻的发生，减缓应激，增强细胞免疫。但从试验数值上看，以添加 500 mg/kg 壳聚糖的作用效果最明显，随着添加量的继续增加，这种效果则不那么明显，原因可能是：壳聚糖作为一种难被哺乳动物消化酶消化的带正电荷的黏多糖，能够增加肠内容物黏度[11]，加之其具有的阴离子交换性质，能够影响胆汁酸循环，增加脂肪排泄量。高剂量的壳聚糖影响营养物质，特别是脂肪及脂溶性维生素的消化吸收，引起机体内的营养再分配。因此以，壳聚糖对断奶仔猪生长和免疫的调节作用呈现剂量效应。

4　结　论

① 饲粮中添加壳聚糖改善断奶仔猪的生长性能，增加断奶仔猪血清 GHRH 和 GH 浓度，高剂量壳聚糖（2 000 mg/kg）增加血清 LP 浓度。

② 饲粮中添加壳聚糖降低断奶仔猪的粪便评分，降低断奶仔猪血清 CRH、ACTH、COR 和 sCD8 浓度。

③ 总之，断奶仔猪饲粮中添加适宜剂量的壳聚糖能够促进断奶仔猪的生长，降低腹泻，缓解断奶应激。

参考文献：

[1] KELLEY K W.Stress and immune function:a bibliographic review[J].Annals of Veterinary Research,1980,11(4):445–478.

[2] VAN DER MEULEN J,KOOPMANS S J,DEKKER R A,et al.Increasing weaning age of piglets from 4 to 7 weeks reduces stress,increases post-weaning feed intake but does not improve intestinal functionality[J].Animal,2010,4(10):1653–1661.

[3] PLUSKE J R,HAMPSON D J,WILLIAMS I H.Factors influencing the structure and function of the small intestine in the weaned pig:a review[J].Livestock Production Science,1997,51(1/2/3):215–236.

[4] MAO X F,PIAO X S,LAI C H,et al.Effects of β-glucan obtained from the Chinese herb *Astragalus membranaceus* and lipopolysaccharide challenge on performance,immunological,adrenal,and somatotropic responses of weanling pigs[J].Journal of Animal Science,2005,83(12):2775–2782.

[5] CORREA-MATOS N J,DONOVAN S M,ISAACSON R E,et al.Fermentable fiber reduces recovery time and improves intestinal function in piglets following *Salmonella typhimurium* infection[J].The Journal of Nutrition,2003,133(6):1845–1852.

[6] WANG Y Z,SHAN T Z,XU Z R,et al.Effects of the lactoferrin (LF) on the growth performance,intestinal microflora and morphology of weanling pigs[J].Animal Feed Science and Technology,2007,135(3/4):263–272.

[7] THANOU M,VERHOEF J C,JUNGINGER H E.Oral drug absorption enhancement by chitosan and its derivatives[J].Advanced Drug Delivery Reviews,2001,52(2):117–126.

[8] BALDRICK P.The safety of chitosan as a pharmaceutical excipient[J].Regulatory Toxicology and Pharmacology,2010,56(3):290–299.

[9] JEON Y J,KIM S K.Antitumor activity of chitosan oligosaccharides produced in ultrafiltration membrane reactor system[J].Journal of Microbiology and Biotechnology,2002,12(3):503–507.

[10] QIN C Q,DU Y M,XIAO L,et al.Enzymic preparation of water-soluble chitosan and their antitumor activity[J].International Journal of Biological Macromolecules,2002,31(1/2/3):111–117.

[11] GALLAHER C M,MUNION J,HESSLINK R,Jr,et al.Cholesterol reduction by glucomannan and chitosan is mediated by changes in cholesterol absorption and bile acid and fat excretion in rats[J].The Journal of Nutrition,2000,130(11):2753–2759.

[12] YIN Y L,TANG Z R,SUN Z H,et al.Effect of galacto-mannan-oligosaccharides or chitosan supplementation on cytoimmunity and humoral immunity in early-weaned piglets[J].Asian-Australasian Journal of Animal Sciences,2008,21(5):723–731.

[13] HAYASHI K,ITO M.Antidiabetic action of low molecular weight chitosan in genetically obese diabetic KK-Ay mice[J].Biological & Pharmaceutical Bulletin,2002,25(2):188–192.

[14] PORPORATTO C,BIANCO I D,RIERA C M,et al.Chitosan induces different *L*-arginine metabolic pathways in resting and inflammatory macrophages[J].Biochemical and Biophysical Research Communications,2003,304(2):266–272.

[15] QIN C Q,LI H R,XIAO Q,et al.Water-solubility of chitosan and its antimicrobial activity[J].Carbohydrate Polymers,2006,63(3):367–374.

[16] SWIATKIEWICZ S,SWIATKIEWICZ M,ARCZEWSKA-WLOSEK A,et al.Chitosan and its oligosaccharide derivatives (chito-oligosaccharides) as feed supplements in poultry and swine nutrition[J].Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition,2015,99(1):1–12.

[17] HU C H,GU L Y,LUAN Z S,et al.Effects of montmorillonite-zinc oxide hybrid on performance,diarrhea,intestinal permeability and morphology of weanling pigs[J].Animal Feed Science and Technology,2012,177(1/2):108–115.

[18] LIU P,PIAO X S,KIM S W,et al.Effects of chito-oligosaccharide supplementation on the growth performance,nutrient digestibility,intestinal morphology,and fecal shedding of *Escherichia coli* and *Lactobacillus* in weaning pigs[J].Journal of Animal Science,2008,86(10):2609–2618.

[19] ZHOU T X,CHO J H,KIM I H.Effects of supplementation of chito-oligosaccharide on the growth performance,nutrient digestibility,blood characteristics and appearance of diarrhea in weanling pigs[J].Livestock Science,2012,144(3):263–268.

[20] TANG Z R,YIN Y L,NYACHOTI C M,et al.Effect of dietary supplementation of chitosan and galacto-mannan-oligosaccharide on serum parameters and the insulin-like growth factor-Ⅰ mRNA expression in early-weaned piglets[J].Domestic Animal Endocrinology,2005,28(4):430–441.

[21] 曾俊,杨刚毅.脂肪细胞因子与胰岛素抵抗的关系及其机制研究新进展[J].成都医学院学报,2011,6(1):78–82.

[22] TRAYHURN P.Hypoxia and adipose tissue function and dysfunction in obesity[J].Physiological Reviews,2013,93(1):1–21.

[23] GE J F,QI C C,ZHOU J N.Imbalance of leptin pathway and hypothalamus synaptic plasticity markers are associated with stress-induced depression in rats[J].Behavioural Brain Research,2013,249:38–43.

[24] BOUDRY G,PÉRON V,LE HUËROU-LURON I,et al.Weaning induces both transient and long-lasting modifications of absorptive,secretory,and barrier properties of piglet intestine[J].The Journal of Nutrition,2004,134(9):2256–2262.

[25] LACKEYRAM D,YANG C B,ARCHBOLD T,et al.Early weaning reduces small intestinal alkaline phosphatase expression in pigs[J].The Journal of Nutrition,2010,140(3):461–468.

[26] MOESER A J,RYAN K A,NIGHOT P K,et al.Gastrointestinal dysfunction induced by early weaning is attenuated by delayed weaning and mast cell blockade in pigs[J].American Journal of Physiology：Gastrointestinal and Liver Physiology,2007,293(2):G413–G421.

[27] SPREEUWENBERG M A M,VERDONK J M A J,GASKINS H R,et al.Small intestine epithelial barrier function is compromised in pigs with low feed intake at weaning[J].The Journal of Nutrition,2001,131(5):1520–1527.

[28] SMITH F,CLARK J E,OVERMAN B L,et al.Early weaning stress impairs development of mucosal barrier function in the porcine intestine[J].American Journal of Physiology：Gastrointestinal and Liver Physiology,2010,298(3):G352–G363.

[29] FAIRBROTHER J M,NADEAU É,GYLES C L.*Escherichia coli* in postweaning diarrhea in pigs:an update on bacterial types,pathogenesis,and prevention strategies[J].Animal Health Research Reviews,2005,6(1):17–39.

[30] 徐元庆,史彬林,李俊良,等.壳聚糖对断奶仔猪肠道菌群的影响[J].饲料研究,2012(10):54–56.

[31] OFEK I,HASTY D L,SHARON N.Anti-adhesion therapy of bacterial diseases:prospects and problems[J].FEMS Immunology & Medical Microbiology,2003,38(3):181–191.

[32] WALSH A M,SWEENEY T,BAHAR B,et al.The effect of chitooligosaccharide supplementation on intestinal morphology,selected microbial populations,volatile fatty acid

concentrations and immune gene expression in the weaned pig[J].Animal,2012,6(10):1620–1626.

[33] MOESER A J,KLOK C V,RYAN K A,et al.Stress signaling pathways activated by weaning mediate intestinal dysfunction in the pig[J].American Journal of Physiology：Gastrointestinal and Liver Physiology,2007,292(1):G173–G181.

[34] PASCHOS K A,KOLIOS G,CHATZAKI E.The corticotropin-releasing factor system in inflammatory bowel disease:prospects for new therapeutic approaches[J].Drug Discovery Today,2009,14(13/14):713–720.

[35] SANTOS J,ALONSO C,VICARIO M,et al.Neuropharmacology of stress-induced mucosal inflammation:implications for inflammatory bowel disease and irritable bowel syndrome[J].Current Molecular Medicine,2008,8(4):258–273.

[36] GAREAU M G,SILVA M A,PERDUE M H.Pathophysiological mechanisms of stress-induced intestina damage[J].Current Molecular Medicine,2008,8(4):274–281.

[37] CHEN Y J,KIM I H,CHO J H,et al.Effects of chitooligosaccharide supplementation on growth performance,nutrient digestibility,blood characteristics and immune responses after lipopolysaccharide challenge in weanling pigs[J].Livestock Science,2009,124(1/2/3):255–260.

[38] LIGHTMAN S L.The neuroendocrinology of stress:a never ending story[J].Journal of Neuroendocrinology,2008,20(6):880–884.

[39] MARKETON J I W,GLASER R.Stress hormones and immune function[J].Cellular Immunology,2008,252(1/2):16–26.

[40] UEHARA S,GOTHOH K,HANDA H,et al.Immune function in patients with acute pancreatitis[J].Journal of Gastroenterology and Hepatology,2003,18(4):363–370.

[41] LI J L,SHI B L,YAN S M,et al.Effects of dietary supplementation of chitosan on humoral and cellular immune function in weaned piglets[J].Animal Feed Science and Technology,2013,186(3/4):204–208.

[42] SPURLOCK M E.Regulation of metabolism and growth during immune challenge:an overview of cytokine function[J].Journal of Animal Science,1997,75(7):1773–1783.

[43] XU Y Q,SHI B L,YAN S M,et al.Effects of chitosan supplementation on the growth

performance,nutrient digestibility,and digestive enzyme activity in weaned pigs[J].Czech Journal of Animal Science,2014,59(4):156–163.

Effects of Chitosan on Growth Performance, Fecal Score, Serum Hormones and T Lymphocyte Subset of Weaned Piglets

XU Yuanqing WANG Zheqi SHI Binlin* YUE Yuanxi QIN Zhe YAN Sumei

（*College of Animal Science*, *Inner Mongolia Agricultural University*, *Huhhot* 010018, *China*）

Abstract: The effects of chitosan on growth performance, fecal score, serum hormones and T lymphocyte subset of weaned piglets were investigated in this study. A total of 60 weaned piglets (weaned at 28 days of age) were selected and assigned randomly to 5 groups, and each group contained 12 piglets. Piglets in control group were fed a basal diet, and those in experimental group were fed the basal diet supplemented with 250, 500, 1 000 and 2 000 mg/kg chitosan, respectively. The experiment lasted for 28 days. The results showed as follows: 1) diet supplemented with 250 to 2 000 mg/kg chitosan significantly increased average daily gain (ADG) (P<0.05), and significantly decreased feed/gain (F/G) of weaned piglets (P<0.05). 2) Diet supplemented with 250 to 2 000 mg/kg chitosan significantly decreased fecal score on the day 11 of weaned piglets (P<0.05). 3) Diet supplemented with appropriate dose of chitosan significantly increased serum concentrations of growth hormone-releasing hormone (GHRH) （250 to 2 000 mg/kg）, growth hormone (GH) (500 to 1 000 mg/kg) and leptin (LP) (2 000 mg/kg) (P<0.05), and significantly decreased serum concentrations of corticotropin releasing hormone (CRH) （250 to 2 000 mg/kg）, adrenocorticotropic hormone (ACTH) （500 to 1 000 mg/kg）, cortisone （COR） （250 to 2 000 mg/kg）and soluble CD8 （sCD8）（500 to 2 000 mg/kg） of weaned piglets (P<0.05). The results suggest that the diet supplemented with appropriate dose of chitosan can improve the growth, reduce the diarrhea and alleviate the weaning stress of weaned piglets.

Key words: chitosan; weaned piglets; growth performance; fecal score; T lymphocyte subset

---

*Corresponding author, professor, E-mail: shibinlin@yeah.net (责任编辑 菅景颖)